
Vom Lautsprecher
zum Equalizer-Lautsprecher!
BOSE 901 Serie IV.

Der Wohnraum auf dem Prüfstand.



Der Einfluß der Raumakustik auf die Klangqualität wurde bislang nahezu ignoriert. In einem zweijährigen Forschungsprogramm unter realen Hörbedingungen fanden BOSE-Ingenieure jetzt wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse. Das Resultat: der Equalizer-Lautsprecher BOSE 901 Serie IV.

Wenn sie den Kauf einer Stereoanlage ins Auge fassen, gehen viele von einer falschen Überlegung aus. Ihnen ist nicht klar, daß der eigentliche Wert der Anlage – ideel und materiell – die mit viel Liebe und Sachverstand ausgewählten Schallplatten sind. Und wie gut sie klingen, hängt entscheidend von den Lautsprechern ab.

Oft stellt man sich die Frage: „Kann ich mir den besten Lautsprecher leisten?“ Eine vernünftige Überlegung. Mehr Aufmerksamkeit jedoch verdient die Frage: „Kann ich mir erlauben, soviel Geld für Schallplatten auszugeben und dann auf den besten Lautsprecher zu verzichten?“
Hat diese Frage nicht mehr Gewicht?

Die Mehrausgabe für den besten Lautsprecher wird bei weitem vom Wert der Schallplattensammlung überschattet. Ganz abgesehen von der besseren Wiedergabequalität und dem größeren Hörvergnügen.
Das läßt sich einfach nicht mit Geld messen.

In dieser Broschüre wird ein Lautsprecher beschrieben, der in Grundkonzept und Bauteilen mit keinem anderen verglichen werden kann. Hier ist er einzig in seiner Art. So ein Lautsprecher kann nur das Erbe langjähriger Grundlagenforschung und vorausblickender Entwicklung sein.

Was ihn – die neue BOSE 901 Serie IV – von der Serie III unterscheidet, basiert auf neuen, gesicherten Forschungserkenntnissen. Erkenntnisse auf einem Gebiet, das bislang unterschätzt oder auch bewußt nicht angegangen wurde: der Einfluß des Wohnraums auf die Wiedergabequalität.

EIN WEISSER FLECK WENIGER.

Jeder Raum hat seine eigene Akustik. Sie verändert das Klangbild eines Lautsprechers beträchtlich.
Dieses Phänomen ist sehr komplex. So fand man sich damit ab und überließ das Klangergebnis mehr oder weniger dem Zufall. Tiefschürfende Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Um endlich die wissenschaftlich fundierte Antwort auf die Frage nach der typischen Akustik solcher Räume und ihrer Wirkung auf die Wiedergabe von Musik zu finden, startete BOSE ein neues Forschungsprogramm. Ein Team von Ingenieuren verließ den gewohnten Arbeitsplatz, um ihn gegen –zig Wohnräume, unterschiedlich in Größe, Schnitt und Einrichtung einzutauschen. Also Forschung unter tatsächlichen Hörbedingungen.

Das verblüffende Ergebnis: Einflüsse der Raumakustik beschränken sich auf einen klar definierten Bereich des Tonspektrums. Sie halten sich in überschaubaren Grenzen.

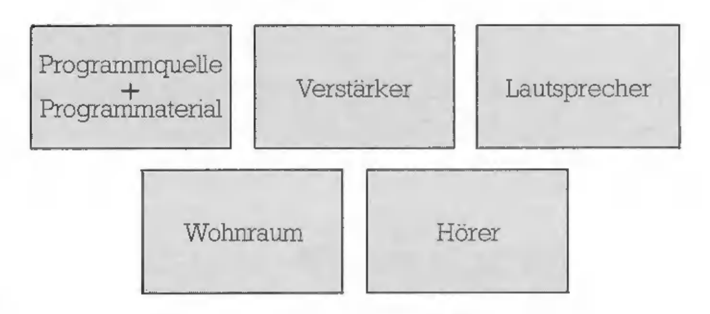
Die Konsequenz ist der Equalizer-Lautsprecher BOSE 901 Serie IV mit neuen Breitbandsystemen und einem von Grund auf neu konstruierten Equalizer.

Dieser Equalizer löst drei wesentliche Probleme:

- korrigiert Unausgewogenheiten in der Programmquelle,
- kompensiert Kopplungen an Grenzflächen, die vom Standort des Lautsprechers abhängen,
- eliminiert klangverfärbende Einflüsse der Raumakustik.

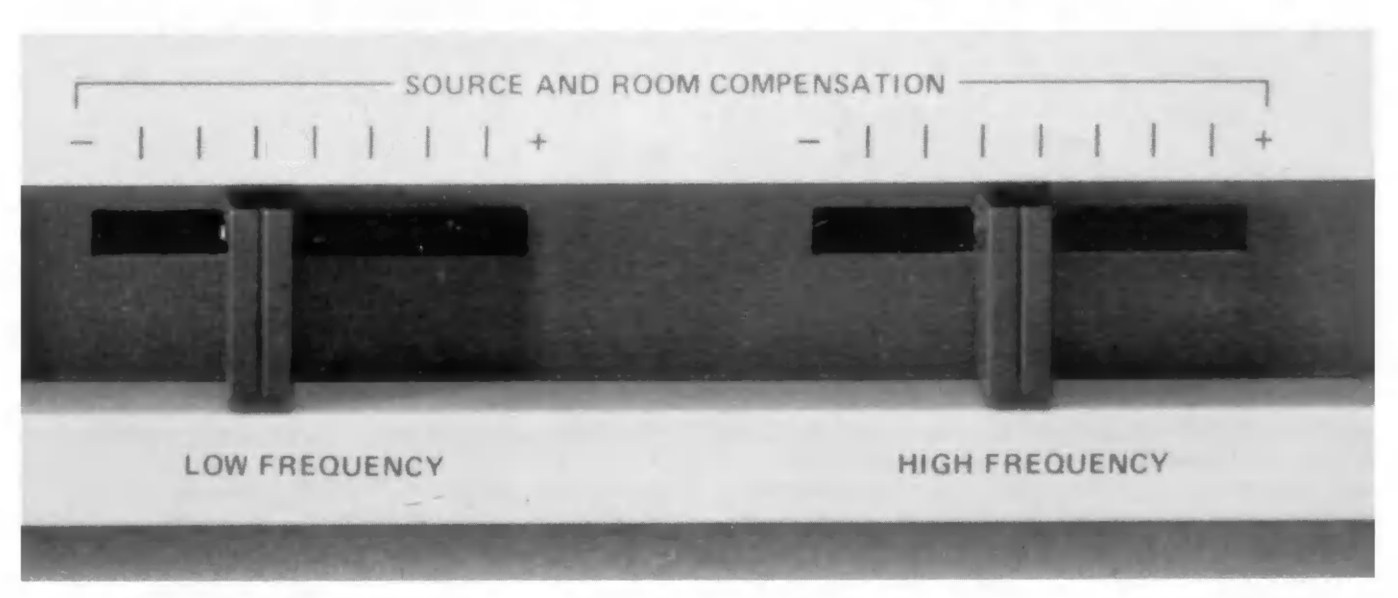
Ein Durchbruch in der Lautsprechertechnologie. Den herkömmlichen „Fuhrpark" elektronischer Hilfsmittel zur Equalisierung kann man endlich vergessen.

Grundsätzlich ist jede Stereoanlage ein System aus mehreren Bausteinen. Der erste Baustein ist die Programmquelle mit dem Programmaterial – z. B. der Plattenspieler und die Schallplatte. Das Abtastsystem tastet die Rillen der Schallplatten mechanisch ab und wandelt die Bewegungen in analoge elektrische Signale um. Diese werden im Verstärker auf den notwendigen Ausgangspegel angehoben und vom letzten Glied der Anlagenkette – den Lautsprechern – wieder in akustische Energie umgesetzt. Also in Schallwellen.



Die komplette Stereoanlage ist immer nur ein Teil des gesamten Übertragungsweges. Die vom Lautsprecher ausgehenden Schallwellen breiten sich im Wohnraum aus und treffen erst dann auf unser Gehör. Folglich müssen Wohnraum und Hörer mit einbezogen werden.

Der Raum ist kein neutrales Medium. Größe, Form und Ausstattung bestimmen seine typischen Resonanzen. Sie verstärken den Schall bei Reflexionen an Wänden, Decke/Fußboden und Mobiliar. Ihre Zahl ist enorm hoch. In einem rechteckigen Raum von 6 m Länge, 4,5 m Breite und 2,7 m Höhe sind es allein über 50 Millionen im hörbaren Frequenzbereich. Und je nach Größe, Schnitt und Einrichtung eines Raumes sind die Resonanzfrequenzen unterschiedlich.



Die 4 Grundkonzepte der BOSE 901.

Von Anfang an hat man im Lautsprecherbau nach Konstruktionen gesucht, die bessere Meßergebnisse aufweisen. Mitte der fünfziger Jahre gelang den Ingenieuren ein großer Schritt in diese Richtung. Die Lautsprecher hatten einen ausgezeichneten Frequenzgang, hervorragendes Einschwingverhalten und sehr geringe, meßbare Verzerrungen. Nichtsdestotrotz war das Klangbild scharf, schrill und unmusikalisch.

Um diesen Widerspruch zwischen Messungen und Wahrnehmung zu erforschen, begann Prof. Amar G. Bose am Massachusetts Institute of Technology ein spezielles Forschungsprogramm.

Vier Jahre später kristallisierte sich heraus, daß die üblichen Meßmethoden – leider werden sie auch heute noch angewandt – für die Beurteilung der Wiedergabequalität von Lautsprechern ungeeignet waren.
Deshalb wurden aussagekräftigere Meßverfahren entwickelt.

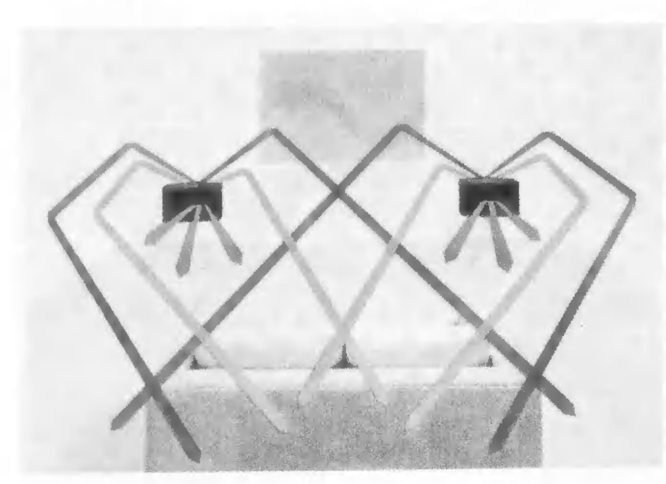
Das Resultat der Meßverfahren sind vier Konzepte, deren Gültigkeit die Fachwelt nicht mehr bestreitet:

❶ Die richtige Verteilung von direktem und reflektiertem Schall ❷ Die Vielzahl von Breitbandsystemen ❸ Die aktive Equalisierung ❹ Die gleichmäßige Verteilung der Schallenergie.

Der BOSE 901 – von Serie I bis Serie IV – ist nach wie vor der einzige Lautsprecher, in dem diese vier Konzepte konsequent verwirklicht werden.

Beginnen wir mit dem ersten Konzept, worin sich der BOSE 901 schon äußerlich von anderen Lautsprechern unterscheidet:

DIE RICHTIGE VERTEILUNG ZWISCHEN DIREKTEM UND REFLEKTIERTEM SCHALL.



Das Klangbild einer Live-Aufführung wird entscheidend von den Reflexionen im Konzertsaal bestimmt. Nur ein kleiner Teil der von den Instrumenten ausgehenden Schallwellen erreicht uns direkt. Dominierend ist der reflektierte Schall.

Herkömmliche Lautsprecherkonstruktionen berücksichtigen nur die direkte Schallkomponente. Mehrere Einzellautsprecher (typisch sind Baß-, Mittel- und Hochtonsystem) werden in ein schalldämpfendes Gehäuse eingebaut und strahlen direkt auf den Hörer ab. Obgleich etwas direkter Schall von den Wänden im Wohnraum reflektiert wird, ist sein Anteil trotzdem weit größer als im Konzertsaal.

Das Ergebnis ist ein „HiFi-Klang", bei dem Musiker einen Mangel an Timbre und Klangfülle empfinden und die unnatürliche Schrille gegenüber der lebendigen Musik kritisieren.

Die ersten Versuche, um die herkömmlichen Lautsprechern anhaftenden Mängel zu verringern, führten zu sog. omnidirekt abstrahlenden Boxen.
Sie strahlen den Schall gleichmäßig in alle Richtungen ab. Zweifellos ein Schritt in die richtige Richtung. Man hat aber nicht bedacht, daß der Hörer zuhaus viel näher am Lautsprecher sitzt, als vor den Instrumenten im Konzertsaal.

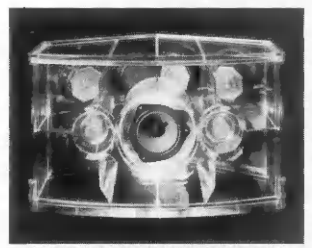
Der Schall omnidirektionaler Lautsprecher kommt also immer noch von einer schmalen Zone und weist viele unerwünschte Eigenschaften auf, die auf zuviel direkte Schallanteile zurückzuführen sind – z. B. die Punktquelle.

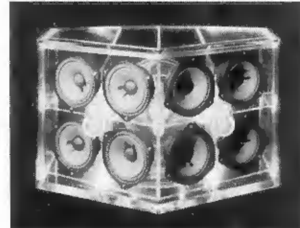
Der BOSE 901 ist anders konstruiert. Er „benutzt" die Wand hinter sich, um die große Bühnenrückwand hinter den Instrumenten zu simulieren.

Von den neun identischen Breitbandsystemen der BOSE 901 richten acht ihren Schall in genau definierten Winkeln auf die Rückwand. Nur ein System strahlt nach vorne ab.

Durch die Reflexion ist die 901 in der Lage, im relativ kleinen Wohnraum das Verhältnis zwischen direktem und reflektiertem Schall im Konzertsaal nachzubilden. So vermittelt dieses Konzept das Gefühl der Räumlichkeit, Offenheit und Präsenz, das sich beim Hören der 901 so spontan und unverwechselbar einstellt.

DIE VIELZAHL VON BREITBAND-SYSTEMEN.





Der Klang von Musikinstrumenten setzt sich aus Tönen verschiedener Frequenzen zusammen. Um den charakteristischen Klang jedes Instruments genau wiederzugeben, muß ein Lautsprecher all diese Frequenzen im korrekten Verhältnis reproduzieren.

Leider sind dem Grenzen gesetzt. Jeder Lautsprecher, gleich welcher Bauart, hat viele Resonanzen. Sie verursachen Unregelmäßigkeiten im Frequenzverlauf. Auch die einzelnen neun Systeme der 901.

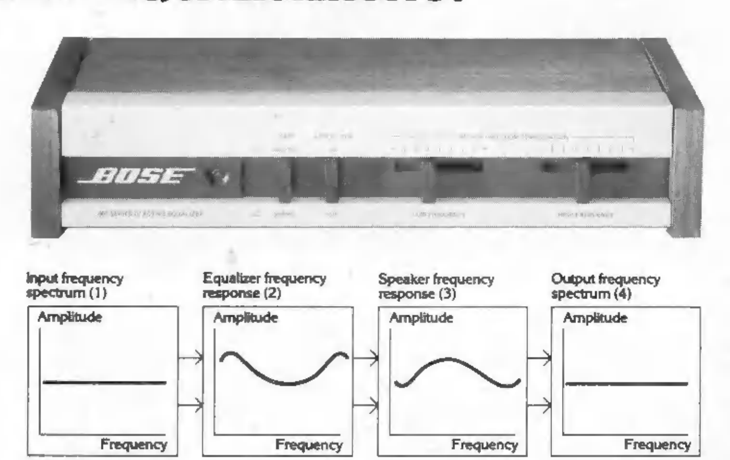
Nur, daß sie durch ein einmaliges Konzept nicht mehr zu hören sind. Bei den neun identischen Breitbandsystemen, die den gesamten hörbaren Frequenzbereich wiedergeben, treten zwei willkommene, physikalische Phänomene auf: „Resonanz-Splitting" und der sogenannte „mittlere Verlauf der Frequenzen".

Resonanz-Splitting kommt folgendermaßen zustande: Im BOSE 901 sind alle neun Breitbandsysteme sehr dicht nebeneinander in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Sie sind über die sie umgebende Luft miteinander gekoppelt – eine „akustische Kopplung".

Nun ist es aber eine physikalisch bekannte Tatsache, daß zwei gekoppelte Resonatoren nicht mit der gleichen Resonanzfrequenz schwingen können, selbst wenn sie die gleiche haben. Die Kopplung zwingt, sich auf verschiedene Frequenzen aufzuteilen, zu splitten.

Der Effekt in der 901 ist, daß zwei Einzelsysteme nie die gleiche Eigenresonanz haben können.
Der Frequenzverlauf ist folglich gleichmäßiger. Der mittlere Verlauf der Frequenzen ist ebenfalls eine Folge der akustischen Kopplung. Er beruht auf der Tatsache, daß bei jeder bestimmten Frequenz nur eines der neun Systeme Unregelmäßigkeiten haben kann. Ein einzelnes System erzeugt aber nur 1/9 der gesamten Schallenergie. Die Auswirkungen sind deshalb viel zu gering, um sie überhaupt hören zu können. Das sind die Gründe für die höhere Klarheit und die exaktere Wiedergabe des musikalischen Timbre im Gegensatz zu herkömmlichen Lautsprechern.

AKTIVE EQUALISIERUNG.



Das Prinzip der aktiven Equalisierung: Kein Lautsprecher – gleich welchen Prinzips – strahlt alle hörbaren Frequenzen mit gleicher Intensität (Amplitude) ab. Ohne Equalisierung des Lautsprecherfrequenzgangs würden folglich hörbare Verfärbungen und Verzerrungen auftreten. Grafik 1 zeigt den glatten Frequenzverlauf des Eingangssignals. Der Verlauf eines Lautsprechers (Grafik 3) zeigt deutlich, daß die Frequenzkurve des Lautsprechers von dem Ideal abweicht. Um wieder eine glatte Kurve zu erhalten, muß der Equalizer eine dem Lautsprecher reziproke Kurve aufweisen. Er hebt an, wo der Lautsprecher dämpft; er dämpft, wo der Lautsprecher verstärkt (Grafik 2). Das Resultat ist das gewünschte, gleichmäßige Ausgangsspektrum der Grafik 4.

Jeder Lautsprecher ist eine mechanische Konstruktion. Die Umwandlung von elektrischer in akustische Energie erreicht nie ganz das Ideal, wie es für die ausgewogene Reproduktion instrumentaler Klangfarben notwendig ist.

Diesen Mangel kann nur aktive Equalisierung beseitigen. Ein aktiver Equalizer ist ein elektronischer Schaltkreis. Speziell dafür konstruiert, um in den kritischen Frequenzbereichen des Lautsprechers die korrekte Balance herzustellen.

Warum – und das ist eine gute Frage – hat dann nicht jeder Lautsprecher einen Equalizer? Warum nur der BOSE 901? Die Antwort: der Einsatz elektronischer Equalizer wird erst bei akustisch gekoppelten Breitbandsystemen sinnvoll.

Aus zwei Gründen:
Erstens: Es ist höchst unpraktisch und viel zu teuer, die vielen Eigenresonanzen von Einzelsystemen zu equalisieren. Das Ergebnis wäre unbefriedigend, der Aufwand der Mühe nicht wert.

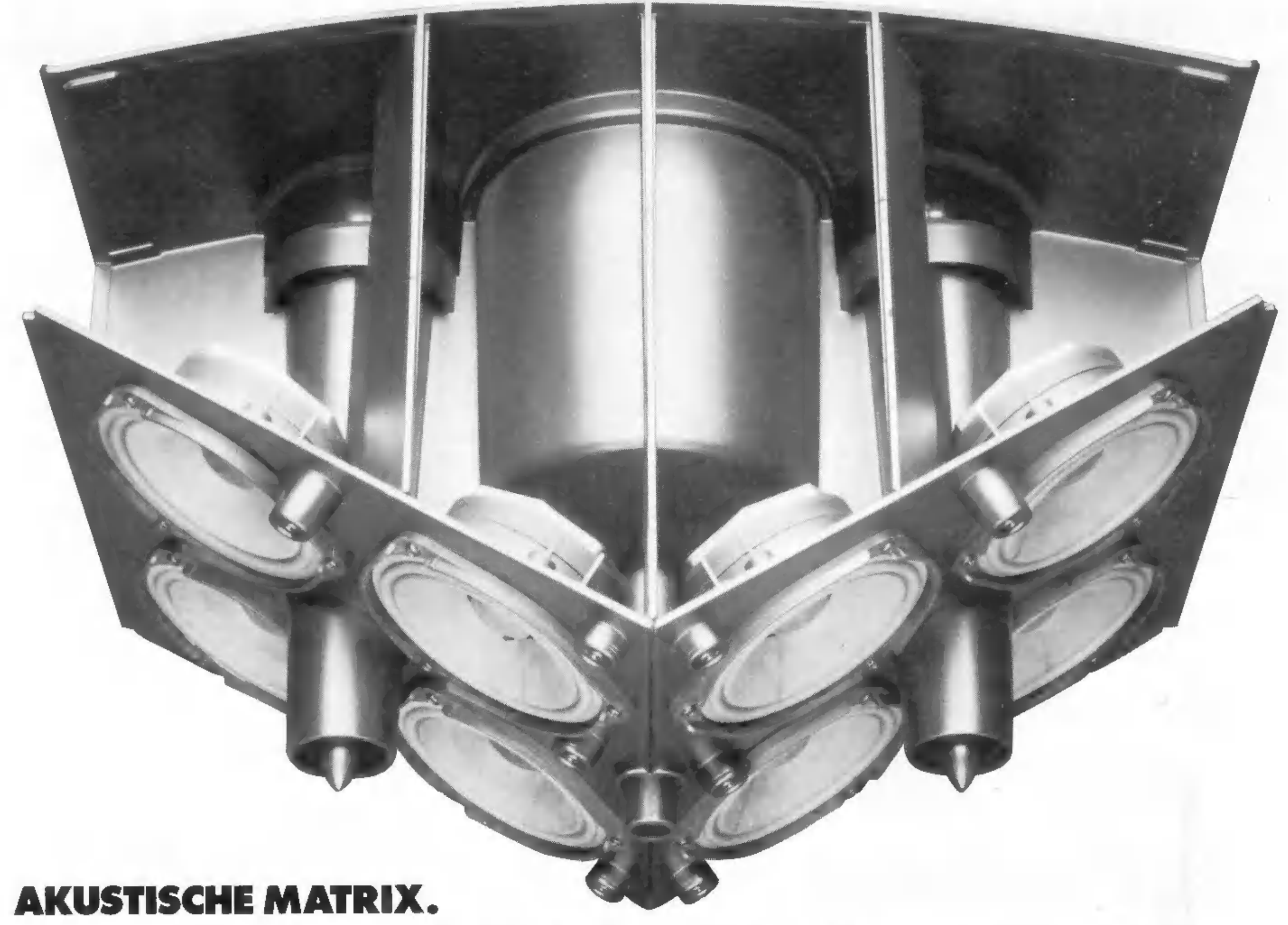
Zweitens: Direkt abstrahlende Lautsprecher lassen sich zwecks eines ausgeglichenen Frequenzverlaufs nur in der direkten Abstrahlrichtung equalisieren.
Mit dem Resultat, daß sie im hohen Frequenzbereich noch schriller klingen. Beides trifft auf die 901 nicht zu. Infolge des Resonanz-Splittings und des mittleren Frequenzverlaufs ist der BOSE 901 für das Equalisieren geradezu prädestiniert. Der Frequenzverlauf ist quasi bereits vorequalisiert. Er hat weder viele Resonanzspitzen, noch strahlt die 901 nur in eine bevorzugte Richtung ab.

Gleichmäßige Verteilung der Schallenergie über den ganzen Wohnraum und ein glatterer Frequenzverlauf sind jedoch Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz eines aktiven Equalizers.

GLEICHMÄSSIGE VERTEILUNG DER SCHALLENERGIE.

Althergebrachte Methoden bedienen sich sogenannter schalltoter Kammern, um den Frequenzverlauf von Lautsprechern zu messen. Schalltote Kammern haben keine Reflexionen. Die „auf Achse" durchgeführten Messungen sagen deshalb nur wenig darüber aus, wie der Lautsprecher in Wohnräumen klingt. BOSE hat ein Verfahren entwickelt, bei dem die gesamte abgestrahlte Energie bei jeder Frequenz gemessen wird. Dabei wird die Wirkung benachbarter Grenzflächen – wie z. B. eine dahinter befindliche Wand – exakt vorgegeben und in die Messung einbezogen.

In Übereinstimmung dazu werden 901 und Equalizer so ausgelegt, daß die gesamte abgestrahlte Schallenergie – und nicht nur die längs der Lautsprecherachse bei jeder Frequenz im richtigen Verhältnis zueinander steht.



AKUSTISCHE MATRIX.

Beim Blick in das Innere der BOSE 901 IV wird jedem klar – so ein Gehäuse hat kein anderer Lautsprecher der Welt. Selbst dem technisch weniger Versierten wird bewußt, daß schöpferische Ingenieurleistungen eine neue Dimension im Lautsprecherbau aufgestoßen haben.

In der neuen BOSE 901 richtet man das Hauptaugenmerk auf die Abstrahlung von der Rückseite der Lautsprechermembranen. Dies ist eminent wichtig. Der rückseitig entstehende Luftdruck beeinflußt die Membranbewegung und somit auch den Klang.

Bei herkömmlichen Lautsprechern werden die Baßsysteme entweder in ein luftdichtes oder mit einer bestimmten Öffnung versehenes Gehäuse eingebaut (Akustiksuspension bzw. Baßreflexprinzip).

Beide Lösungen sind nicht problemlos. Luftdichte Gehäuse vermindern den Wirkungsgrad, Baßreflexboxen verändern den Frequenzgang.

Die Akustische Matrix hält die Luftbewegungen hinter den Membranen unter Kontrolle. Beim Zurückschwingen wird die Luft in der Kammer komprimiert, über schmale Kanäle aus den Kammern herausgepreßt und mit den benachbarten Luftströmen vereinigt. Diese Druckwelle lastet auf einer reaktiven Luftsäule des folgenden Sammelkanals, der wie eine Düse aus der Rückseite des Lautsprechers herausragt. Kammern, Sammelkanäle und reaktive Luftsäulen sind in sich geschlossene schwingende Systeme, bei denen die Luftsäulen die Rolle einer reaktiven Masse spielen. Die Vorteile der Akustischen Matrix sind einmalig: ■ Auf jede Membran wirkt der exakt richtige Druck. ■ Alle Driver halten sich gegenseitig genau unter Kontrolle. ■ Die tiefen Bässe werden nicht nur von den Membranen, sondern überwiegend von den drei reaktiven Luftsäulen abgestrahlt.

Im Gegensatz zu Baßreflexboxen werden also weder der Frequenzgang noch das Einschwingverhalten negativ beeinflußt.

Das ist der Grund für die bislang nicht mögliche saubere Wiedergabe tiefster Bässe und den geradezu überwältigenden Dynamikumfang der neuen BOSE 901.

Für die Konstruktion der Akustischen Matrix war über 1 Jahr Entwicklungsarbeit notwendig. Abgesehen von der Genauigkeit – die Lautsprecherkammern müssen exakt das gleiche Volumen haben – gab es besonders bei den Luftkanälen große aerodynamische Probleme.

Hier treten Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 100 km pro Stunde auf. Bei solchen Geschwindigkeiten ist die Tendenz zu Turbulenzen groß. Turbulenzen verursachen jedoch unerwünschte Energieverluste, Geräusche und Verzerrungen. Sie mußten unterbunden werden.

Länge, Durchmesser und der Kern der jetförmigen Gebilde waren so zu dimensionieren, daß die Luft laminar und turbulenzfrei strömen konnte. Die Fertigung der Akustischen Matrix verlangte im Lautsprecherbau nicht bekannte Techniken und Werkstoffe.

Herkömmliche Holzgehäuse sind unbrauchbar, wenn Genauigkeiten von 0,13 mm eingehalten werden müssen. Es gab nur eine einzige adäquate Lösung: das Hochdruck-Spritzguß-Verfahren.

Eine lange Strecke vom einfachen Holzgehäuse zur Akustischen Matrix.

DIE HELICAL-SCHWINGSPULE.

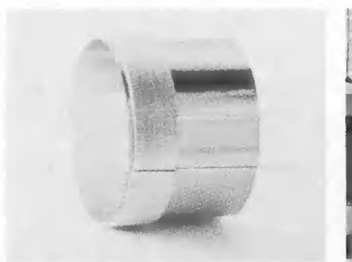
Das Herz jedes Lautsprechers ist der elektroakustische Wandler (Driver). Er setzt das Verstärker-Signal in Luftbewegung um, was wir als Schall wahrnehmen.

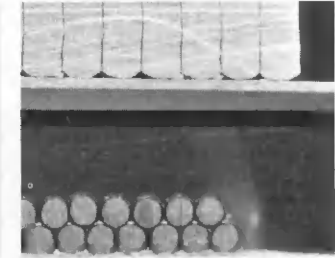
Unbegrenzte Belastbarkeit.

Durch noch bessere Fertigungsmethoden und neue Werkstoffe konnte der Driver weiter verbessert werden. Sein Wirkungsgrad im Hochtonbereich zwischen 10 und 15 kHz ist um ca. 4 dB größer. Die Belastbarkeit einmalig. Die BOSE 901 Serie IV kann mit jedem Verstärker betrieben werden. Zwar genügen wegen des hohen Wirkungsgrades bereits Verstärker mit 10 Watt. Doch wem das nicht genügt, dem sind nach oben keine Grenzen gesetzt. Die BOSE 901 kennt kein Power-Limit.

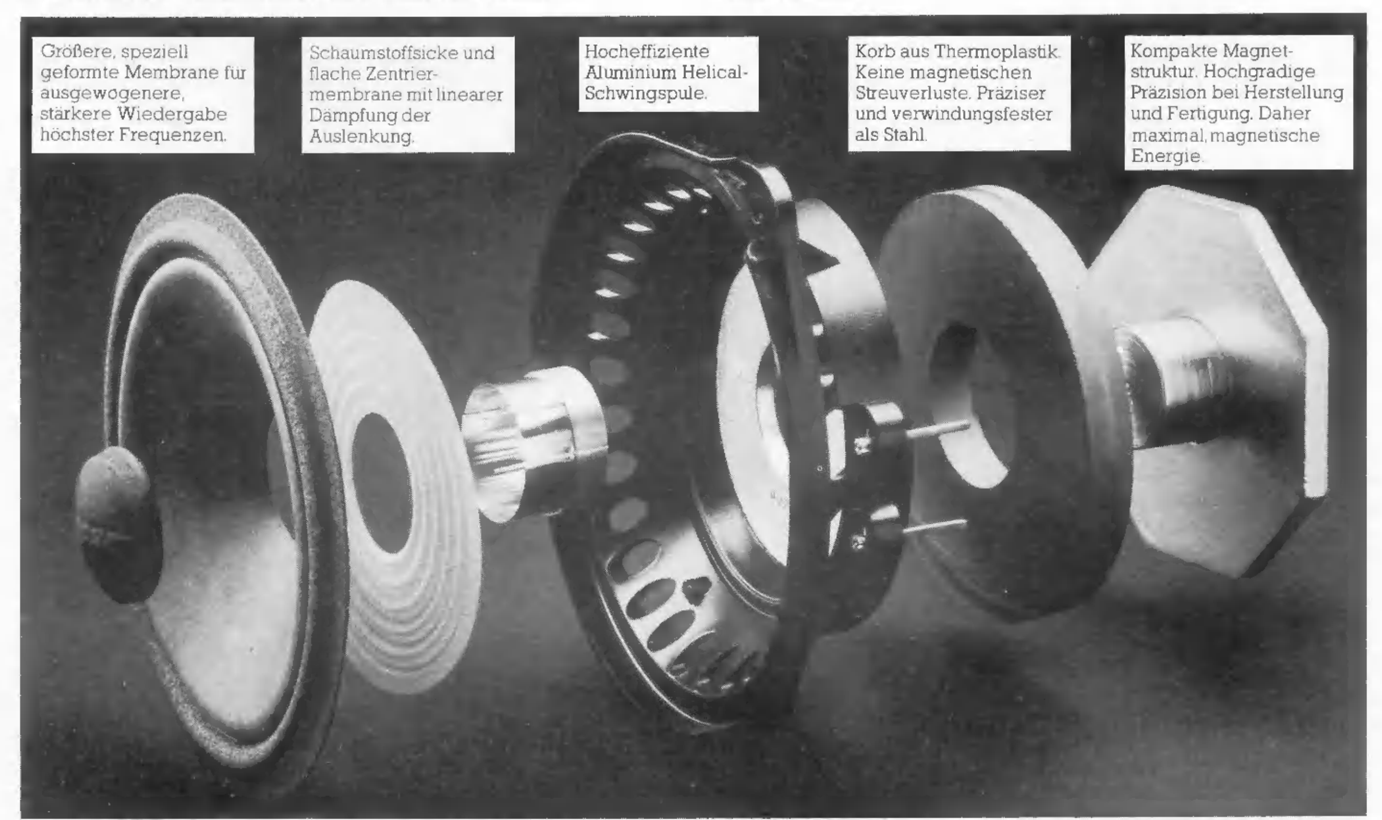
Die Schwingspule ist der Kern des Drivers. Hier fließt der elektrische Strom durch den Luftspalt im Magnetfeld und erzeugt die Kraft, mit der die Lautsprechermembran angetrieben wird. Grundsätzlich muß eine hohe Antriebskraft für

So entstand, was der Lautsprechertechnologie neue Impulse geben wird: die Helical-Schwingspule von BOSE. ■ Aluminiumdraht für minimales Gewicht. ■ Extrem dünne Isolation mit außergewöhnlicher Lebensdauer (anodisiertes Aluminium). ■ Hochkant-gewickelter Flachdraht (Einlagenwicklung). ■ Präzisionsfertigung höchster Reproduzierbarkeit.





Doch das sind nicht die einzigen Merkmale der Helical-Schwingspule. Da diese Konzeption nur wenige Windungen verlangt, beträgt die Impedanz der Spule ganze 0,9 Ohm! In Reihe geschaltet erreicht man den wünschenswerten 8 Ohm Widerstand.



maximale Membranauslenkung bei minimaler Verstärkerleistung angestrebt werden. Denn ein schlechter Wirkungsgrad hängt von mehreren Faktoren ab. Von der Masse der Schwingspule, der Zahl der stromführenden Drahtwindungen auf der Spule, der Größe des Luftspaltes im Magnetfeld und von der Magnetkraft. Bei einem gegebenen Magnetfeld ist der Wirkungsgrad umso höher, je leichter die Schwingspule, je enger der Luftspalt und je größer der Strom in den Windungen ist.

Herkömmliche Schwingspulen werden aus rundem, relativ schwerem Kupferdraht gewickelt. Die Nutzung des Magnetfeldes ist deshalb durch den zwangsläufig entstehenden Leerraum um die einzelnen Drahtwindungen gering. BOSE war gezwungen, eine in jeder Hinsicht andere Schwingspule zu entwickeln, um eine hohe Effizienz bei hohen und tiefen Frequenzen zu erreichen.

Eine Spule dieses Qualitätsgrades bedarf hochentwickelter Fertigungstechniken. Sie lassen den heutigen Stand weit hinter sich. Spulen mit rechteckigem Draht sind zwar nicht neu. Ihr Durchmesser war jedoch größer, und außerdem wurden sie von Hand gewickelt. Solche veralteten Wickeltechniken sind zu ungenau. Sie werden dem Präzisionsgrad der 901 nicht gerecht. Dieses Niveau ist nur über computergesteuerte, automatisch ablaufende Prozesse zu verwirklichen. Sie wurden von BOSE in eigener Regie entwickelt.



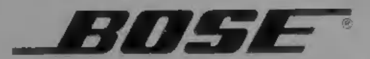


Beenden wir all die Betrachtungen über Forschung und Technologie. Wenden wir uns dem zu, was letztlich alles entscheidet: Ihre Freude an der Musik.

Musik hat schon immer eine bedeutende Rolle gespielt. Sie weckt tiefste Empfindungen. Ohne sie wäre unser Leben um vieles ärmer. Heute mehr denn je. Eine HiFi-Anlage ist kein Luxus. Sie ist eines der schönsten Erlebnisse.

Lebendige Musik so exakt wie nur möglich wiederzugeben, das ist die Leitidee von BOSE.





Deutschland: BOSE GmbH, Postfach 1160, 6380 Bad Homburg, Telefon (0 61 72) 4 20 42
Schweiz: BOSE AG, Haus Tanneck, 4460 Gelterkinden, Telefon (0 61) 99 55 44
Österreich: Generalvertrieb Bräuer & Weineck, Spittelwiese 7, 4020 Linz/Donau, Telefon (0 72 22) 7 16 66